

不同杂种优势群玉米自交系籽粒 灌浆和脱水速率评价

徐田军, 张 勇, 赵久然, 王荣焕, 吕天放, 刘宏伟, 刘月娥, 蔡万涛,
张如养, 宋 伟, 邢锦丰, 王元东

(北京市农林科学院玉米研究中心 / 玉米 DNA 指纹及分子育种北京市重点实验室, 北京 100097)

摘要: 以京 2416 等 7 个不同杂种优势群共 43 份玉米骨干自交系为试验材料, 研究并明确其籽粒灌浆和脱水速率差异, 旨在为选育灌浆脱水快的玉米品种提供参考和指导。结果表明: (1) 不同杂种优势群玉米自交系产量平均为 4504.29 kg/hm², 其中京 724 产量最高; 不同杂种优势群间表现为 X 群 > 改良 Reid 群 > 黄改群 > Reid 群 > Iodent 群 > P 群 > 旅大红骨群。(2) 灌浆速率平均为 0.68 g/100-grain/d, 其中京 2416 最高, 较郑 58 和 PH6WC 分别高 0.28 g/100-grain/d 和 0.19 g/100-grain/d, 增幅为 46.67% 和 27.54%; 不同杂种优势群间表现为 X 群 > Reid 群 > Iodent 群 > 黄改群 > 改良 Reid 群 > 旅大红骨群 > P 群。(3) 收获期籽粒含水率平均为 22.44%, 其中京 2416 为 18.91%, 较郑 58 和 PH6WC 低 6.34 个百分点和 3.18 个百分点; 生理成熟后籽粒脱水速率平均为 0.65 %/d, 其中京 2416 最高, 较郑 58 和 PH6WC 高 78.26% 和 17.14%; 不同杂种优势群间表现为 X 群 > Iodent 群和 Reid 群 > 黄改群 > 旅大红骨群 > 改良 Reid 群 > P 群。(4) 对参试玉米骨干自交系的籽粒灌浆速率和脱水速率进行系统聚类分析发现, 京 2416、京 B547、京 MC01、京 72464 灌浆速率和脱水速率均较高。(5) 相关分析表明, 玉米自交系产量与籽粒灌浆速率、干物质转运率呈极显著正相关, 收获时籽粒含水率与生理成熟后籽粒脱水速率呈极显著负相关, 生理成熟后籽粒脱水速率与灌浆速率呈极显著正相关。由此可见, X 群自交系的籽粒灌浆和脱水速率均高于其他杂种优势群; 黄改群骨干自交系京 2416 熟期最早, 且灌浆和脱水速率均为最高, 对培育早熟宜粒收玉米新品种具有重要的育种价值。

关键词: 杂种优势群; 玉米自交系; 籽粒灌浆和脱水速率; 评价

Evaluation of Grain Filling and Dehydration Rate of Maize Inbred Lines in Different Heterosis Groups

XU Tian-jun, ZHANG Yong, ZHAO Jiu-ran, WANG Rong-huan, LYU Tian-fang, LIU Hong-wei,
LIU Yue-e, CAI Wan-tao, ZHANG Ru-yang, SONG Wei, XING Jin-feng, WANG Yuan-dong

(Maize Research Center, Beijing Academy of Agriculture & Forestry Sciences/Beijing Key
Laboratory of Maize DNA Fingerprinting and Molecular Breeding, Beijing 100097)

Abstract: Forty-three maize inbred lines in different heterosis groups were used to analyze the difference on grain filling and dehydration rate, in order to provide insights in breeding for maize varieties with high grain filling and dehydration rate. The results showed that: (1) the average yield of maize inbred lines was 4504.29 kg/hm², while Jing724 showed the highest yield performance. The performance among different heterosis groups was revealed (X group > Improved Reid > Huangzaosi improved lines > Reid group > Iodent group > P group > Lyuda red cob

收稿日期: 2021-04-22 修回日期: 2021-05-28 网络出版日期: 2021-06-25

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20210422002>

第一作者研究方向为玉米栽培生理研究, Email: xtjxtjbb@163.com; 张勇为共同第一作者

通信作者: 赵久然, 主要从事玉米育种及栽培研究, E-mail: maizezhao@126.com

王荣焕, 主要从事玉米栽培研究, E-mail: ronghuanwang@126.com

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD0100205); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系; 内蒙古自治区科技计划项目 (2020GG0098); 北京学者计划项目 (BSP041)

Foundation projects: The National Key Research and Development Program of China (2018YFD0100205), China Agriculture Research System of MOF and MARA, Science and Technology Planning Project of Inner Mongolia (2020GG0098), Beijing Scholars Project (BSP041)

group)。(2) The average grain filling rate was 0.68 g/100-grain/d. Jing2416 showed the highest grain filling rate, representing 0.28 and 0.19 g/100-grain/d higher than Zheng58 and PH4CV. Among different heterosis groups, X group was observed to higher than that of Reid group, followed by Iodent group, Huangzaosi improved lines, Improved Reid, Lyuda red cob and P group。(3) The average grain moisture content at harvest was 22.44%, and that of Jing2416 was 18.91%, 6.34% and 3.18% lower than that of Zheng58 and PH6WC, the average grain dehydration rate after physiological maturity was 0.65%/d, among which Jing2416 was the highest, 78.26% and 17.14% higher than that of Zheng58 and PH6WC. The dehydration rate of different types of maize inbred lines was as follows: X group>Iodent group and Reid group>Huangzaosi improved lines>Lyuda red cob>Improved Reid>P group。(4) Four inbred lines including Jing2416, JingB547, JingMC01 and Jing72464 showed higher grain filling rate and dehydration rate。(5) The grain yield was significantly positively correlated with grain filling rate and dry matter transport rate. A significant negative correlation between grain moisture content at harvest and grain dehydration rate after physiological maturity was detected, whereas a significant positive correlation between grain dehydration rate and grain filling rate after physiological maturity was observed. The results showed that the grain filling and dehydration rates of X group were higher than those of other genetic groups, Jing2416, the Huangzaosi improved lines, had the earliest maturity and the highest grain filling and dehydration rates, which had important breeding value for breeding new maize varieties with early maturity and suitable grain yield.

Key words: heterosis group; maize inbred line; grain filling and dehydration rate; evaluate

玉米是我国种植面积最大、总产量最高的第一大粮食作物,对保障国家粮食安全和满足市场需求发挥着主力军作用^[1]。玉米籽粒灌浆脱水速率与产量、品质密切相关,成为育种家关注重点之一。目前中国玉米育种中利用的主要杂种优势群有X群、P群、旅大红骨群、瑞德群、改良瑞德群、黄改群、兰卡斯特群、Iodent群等^[2],研究并明确不同杂种优势群玉米自交系籽粒灌浆脱水速率的差异,筛选灌浆脱水快的玉米骨干自交系,为高产优质的适宜机收籽粒玉米品种选育提供参考。

玉米籽粒干物重积累决定于灌浆持续期和灌浆速率^[3-4],玉米籽粒的灌浆除受生态环境^[5]、播期^[6-7]、耕作方式^[8]等影响外,还与品种基因型密切相关。秦泰辰等^[9]研究表明玉米灌浆速率对粒重的作用要大于灌浆持续期,且与遗传因素相关,具有较高的狭义遗传力,主要受基因加性和显性效应控制^[10-11]。通过改良玉米自交系籽粒灌浆速率来提高粒重、增加产量是玉米育种的首选途径^[12]。优良种质鉴定利用是玉米育种的基础。对玉米籽粒脱水速率这一性状,不同基因型玉米品种籽粒脱水速率变异较大,通过对籽粒脱水速率进行选择,可培育出脱水特性优良的玉米品种。国外学者研究表明,Purdy等^[13]认为相对玉米组合的特殊配合力,玉米亲本的一般配合力尤为重要。Crane等^[14]和王克如等^[15]认为在不同玉米品种间籽粒

脱水速率存在显著差异,且主要是由基因加性效应控制,但基因非加性效应也起一定的作用,遗传率高达95%,且性状表现稳定,选择有效。霍仕平等^[16]指出,生理成熟后籽粒脱水速率品种间存在很大差异,遗传上受加性效应基因支配。刘显君等^[17]研究认为,生理成熟后玉米籽粒脱水速率是由多基因控制的数量性状,受加-显性基因控制,其广义、狭义遗传力均较高,但以基因加性效应为主,因此早代选择有效。玉米新品种选育“难在选系”,优良玉米自交系选育和利用是关键,特别是在籽粒机械收获大背景下,对玉米自交系灌浆和脱水速率鉴定评价,并组配适宜机收籽粒玉米品种迫在眉睫。尽管国内外关于玉米籽粒灌浆、脱水速率的研究很多,但多集中在生产上应用的杂交种,关于玉米自交系及不同杂种优势群籽粒灌浆脱水的研究报道较少。因此,研究并明确不同杂种优势群玉米自交系的籽粒灌浆和脱水速率差异,可为培育灌浆脱水速率快玉米品种提供参考和指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以京2416等7个杂种优势群共43份玉米骨干自交系为试验材料(表1),杂种优势群划分主要依据张冬梅等^[18]相关研究。

表 1 不同杂种优势群玉米自交系生育期、干物质积累和产量

Table 1 Growth period, dry matter accumulation and yield of maize inbred lines with different heterosis groups

杂种优势群 Heterotic group	自交系 Inbred line	生育期 (d) Growth stage	产量 (kg/hm ²) Yield	吐丝期单株干物重 (g) Dry weight per plant at silking stage	干物质转运率 (%) Dry matter transport rate
黄改群 Huangzaosi improved lines	京 2416	97	5515.80cd	113.08hij	32.67a
	京 24	101	5172.45ef	107.06ijklm	29.84bc
	5237	105	4046.80mn	70.23t	21.53lmn
	昌 7-2	111	4258.60lm	92.33pqr	20.49mno
	黄早四	105	3207.30s	78.91st	19.16nop
	京 2416B92	110	5178.85ef	142.34cd	28.97cde
	京 92	112	4996.35fg	90.68qr	25.61ghi
	Lx9801	108	4788.30ghi	113.11hij	24.70ghij
	C1120	118	6626.25b	127.31ef	30.01bc
	浚 92-8	112	4272.55klm	101.55klmnop	21.78klmn
	京 404	110	4349.50kl	112.92hij	20.96mno
旅大红骨群 Lyuda red cob group	丹 340	105	2408.20u	109.32ijk	14.85qr
	丹 598	117	3711.80pq	108.31ijkl	14.88qr
	综 31	110	4220.20lm	87.45rs	18.56op
改良 Reid 群 Improved Reid	9058	109	5338.10de	129.94ef	25.49ghi
	9046	110	4518.40jk	109.45ijk	24.57ghij
	郑 58	117	4807.15ghi	98.09mnopq	19.56no
	掖 478	112	4795.70ghi	102.23klmno	21.50lmn
	CH3	109	4844.65ghi	128.92ef	27.06defg
X 群 X group	京 724	111	7140.55a	153.20ab	31.93ab
	京 725	110	7021.65a	155.75a	29.93bc
	京 464	113	4849.00ghi	154.41a	26.60efgh
	京 MC01	100	5763.55c	94.43opqr	26.29fghi
	京 B547	105	5659.45c	96.86nopqr	25.59ghi
	京 88	110	4626.70ij	90.12qr	22.33jklm
	京 72464	110	5396.60de	134.23de	28.29cdef
	京 D9H	108	4641.70hi	106.34ijklmn	25.71fghi
	京 X005	108	4842.85ghi	112.91hij	23.80ijkl
	京 D9B	110	4044.80mn	112.34hij	24.14hijkl
P 群 P group	P178	115	3854.65nop	120.24fgh	15.90q
	F421	115	2824.80t	113.98hij	12.68rs
	P008	110	3565.65qr	151.23abc	15.12qr
	P138	118	3788.50opq	143.23bcd	16.60pq
	齐 319	117	4457.85jkl	162.12a	23.79ijkl
Reid 群 Reid group	B73	105	3172.55s	60.12u	9.95t
	PH6WC	110	5347.25de	123.23fg	28.31cdef
	SY8727	110	2712.80t	102.34klmno	10.41st
	SK516	110	4074.80mn	110.21ijk	29.33bcd
Iodent 群 Iodent group	Y59	110	4026.80mno	89.45qr	24.32hijk
	PH4CV	107	4883.45gh	113.23hij	26.96defg
	PH207	110	2824.80t	89.98qr	16.80pq
	京 17	106	3373.20rs	99.12lmnopq	19.19nop
	SK1098	105	3733.40pq	103.56jklmno	25.12ghi

同一列数字后不同小写字母表示不同处理间差异达 0.05 显著水平,下同

Values within a column followed by different letters are significantly different at the 0.05 probability level among different treatments, the same as below

1.2 试验设计

试验于北京市农林科学院通州试验基地(40°18' N, 116°45' E, 海拔 40 m)进行。试验田耕层土壤(0~20 cm)含有机质 9.88 mg/kg、碱解氮 91.9 mg/kg、速效磷 28.30 mg/kg、速效钾 168 mg/kg。2020 年 5 月 15 日播种,随机区组设计,6 行区,行长 10 m,行距 60 cm,3 次重复。

1.3 测定指标

1.3.1 灌浆速率 调查参试自交系生育期。吐丝前,在每个小区分别选择生长健壮整齐一致的果穗进行挂牌标记。各玉米自交系均自授粉后 15 d 开始取样,每 7 d 取样 1 次至生理成熟期(以乳线消失且黑层出现作为判定标准),之后每隔 5 d 取样 1 次。测定时如遇降水天气,则顺延 1 d 取样。每次各小区取 3 穗果穗中部籽粒 100 粒,称鲜重,在 105 °C 烘箱中杀青 30 min 后,80 °C 烘干至恒量,称取百粒干物重。以授粉后天数为自变量、授粉后每隔 7 d 测得的百粒重为因变量,参照朱庆森等^[19]的方法,利用 Richards 方程 $W=A(1+Be^{-Ct})^{-1/D}$ 模拟籽粒灌浆过程,籽粒灌浆速率为 $F=ACBe^{-Ct}/(1+Be^{-Ct})^{(D+1)/D}$,式中: W 为粒重(g), A 为最终粒重(g), t 为授粉后天数(d), B 、 C 、 D 为回归方程所确定的参数,其中, A 为终极生长量, B 为初值参数, C 为生长速率参数, D 为形状参数,当 $D=1$ 时,即为 Logistic 方程。平均灌浆速率 $G_{ave}=AC/(2D+4)$ 。

1.3.2 脱水速率 根据籽粒百粒鲜重和百粒干重,计算籽粒含水率。籽粒含水率(%)=(百粒鲜重-百粒干重)/百粒鲜重×100。生理成熟后籽粒脱水速率(%/d)=(生理成熟期籽粒含水率-收获期籽粒含水率)/间隔天数

1.3.3 产量 收获期,剔除边行植株,各小区人工收获中间 4 行,然后自然风干,考种后脱粒计产(按 14% 标准含水量折算产量)。

1.4 数据分析

采用 SAS 软件对数据进行方差分析,其中处理间差异显著性采用 LSD 法进行检验($\alpha=0.05$)。采用 Microsoft Excel 2017 和 Sigma Plot 10.0 进行数据计算和作图。利用 SPSS.19 进行系统聚类分析。

2 结果与分析

2.1 生育期

由表 1 可知,生育期、产量、吐丝期单株干物质重、干物质转运率在不同杂种优势群和参试玉米自交系间存在较大差异。不同杂种优势群玉米自交

系生育期平均为 109.56 d,其中京 2416 生育期最短, P138 和 C1120 生育期最长;参试自交系产量平均为 4504.29 kg/hm²,以京 724 最高、丹 340 最低,不同杂种优势群间表现为 X 群(5398.69 kg/hm²)>改良 Ried 群(4860.80 kg/hm²)>黄改群(4764.80 kg/hm²)>Reid 群(3826.85 kg/hm²)>Iodent 群(3768.33 kg/hm²)>P 群(3698.29 kg/hm²)>旅大红骨群(3446.73 kg/hm²);吐丝期单株干物质重平均为 112.30 g,不同杂种优势群间表现为 P 群(138.16 g)>X 群(121.06 g)>改良 Ried 群(113.73 g)>黄改群(104.50 g)>旅大红骨群(101.69 g)>Iodent 群(99.06 g)>Reid 群(98.98 g);干物质转运率平均为 22.82%,以京 2416 最高,其次是京 724, B73 最低。

2.2 籽粒干物重和灌浆速率

由表 2 和图 1A 可知,利用 Richard 方程能够很好拟合籽粒灌浆过程,并得到灌浆参数。籽粒百粒干物重和灌浆速率在不同杂种优势类群和自交系间差别各异。籽粒灌浆速率以黄改群中京 2416 最高。参试玉米自交系百粒干物重平均为 27.04 g,变幅为 22.11~32.79 g,不同杂种优势群间表现为改良 Ried 群(29.57 g)>P 群(28.05 g)>X 群(27.22 g)>Reid 群(27.18 g)>黄改群(26.67 g)>Iodent 群(25.50 g)>旅大红骨群(24.28 g);灌浆速率平均为 0.68 g/100-grain/d,以京 2416 为最高,较郑 58 高 0.28 g/100-grain/d,增幅为 46.67%,浚 92-8 和昌 7-2 最低,不同杂种优势群间表现为 X 群(0.76 g/100-grain/d)>Reid 群(0.72 g/100-grain/d)>Iodent 群(0.71 g/100-grain/d)>黄改群(0.67 g/100-grain/d)>改良 Reid 群(0.65 g/100-grain/d)>旅大红骨群(0.61 g/100-grain/d)>P 群(0.59 g/100-grain/d)。

2.3 籽粒含水率和脱水速率

由表 3 和图 1B~D 可知,生理成熟时、收获时籽粒含水率及生理成熟后脱水速率在不同杂种优势类群和自交系间差别各异。其中,参试玉米自交系生理成熟时籽粒含水率平均为 31.43%,变幅为 28.86%~33.28%,不同杂种优势群间差别不大;收获期籽粒含水率平均为 22.44%,变幅为 18.22%~25.27%,其中京 2416 为 18.91%,较郑 58 低 6.34 个百分点;生理成熟后籽粒脱水速率平均为 0.65 %/d,其中京 2416 最高,分别较郑 58 和 PH4CV 高 78.26% 和 9.33%,不同杂种优势群间表现为 X 群(0.71 %/d)>Reid 群和 Iodent 群(0.70 %/d)>黄改群(0.68 %/d)>旅大红骨群(0.65 %/d)>改良 Ried 群(0.53 %/d)>P 群(0.49 %/d)。

表 2 不同杂种优势群玉米自交系百粒干物重和灌浆速率

Table 2 100-grain dry weight and grain filling rate of maize inbred lines with different heterosis groups

杂种优势群 Heterotic group	自交系 Inbred line	Richard 方程 Richard equation	拟合系数 Fitting coefficient	百粒干物重 (g) 100-grain dry weight	灌浆速率 (g/100-grain/d) Grain filling rate
黄改群 Huangzaosi improved lines	京 2416	$Y=30.34/(1+e^{(0.55-0.12X)})^{1/0.11}$	0.9945	$30.34 \pm 0.13cde$	$0.88 \pm 0.03a$
	京 24	$Y=30.28/(1+e^{(-0.03-0.11X)})^{1/0.10}$	0.9913	$30.68 \pm 0.11bcd$	$0.80 \pm 0.01bcde$
	5237	$Y=23.08/(1+e^{(-0.67-0.12X)})^{1/0.06}$	0.9899	$23.08 \pm 0.12rs$	$0.69 \pm 0.02jklm$
	昌 7-2	$Y=24.33/(1+e^{(2.52-0.10X)})^{1/1.00}$	0.9934	$24.33 \pm 0.22nopqr$	$0.41 \pm 0.03u$
	黄早四	$Y=23.66/(1+e^{(2.96-0.16X)})^{1/0.67}$	0.9923	$23.66 \pm 0.11pqrs$	$0.69 \pm 0.02klm$
	京 2416B92	$Y=26.61/(1+e^{(2.22-0.14X)})^{1/0.42}$	0.9912	$26.61 \pm 0.12hijkl$	$0.76 \pm 0.02efg$
	京 92	$Y=24.10/(1+e^{(3.93-0.16X)})^{1/0.90}$	0.9934	$24.10 \pm 0.11opqr$	$0.69 \pm 0.02klm$
	Lx9801	$Y=27.77/(1+e^{(-0.45-0.10X)})^{1/0.06}$	0.9987	$27.77 \pm 0.38fgh$	$0.65 \pm 0.01mnop$
	C1120	$Y=32.46/(1+e^{(0.61-0.09X)})^{1/0.16}$	0.9978	$32.46 \pm 0.11a$	$0.70 \pm 0.01ijkl$
	浚 92-8	$Y=25.49/(1+e^{(-0.38-0.07X)})^{1/0.16}$	0.9975	$25.49 \pm 0.21jklmno$	$0.41 \pm 0.01u$
旅大红骨群 Lyuda red cob group	京 404	$Y=24.81/(1+e^{(4.68-0.16X)})^{1/1.10}$	0.9981	$24.81 \pm 0.38mnopq$	$0.66 \pm 0.01lmno$
	丹 340	$Y=22.11/(1+e^{(-0.22-0.08X)})^{1/0.11}$	0.9949	$22.11 \pm 0.22s$	$0.44 \pm 0.02u$
	丹 598	$Y=23.74/(1+e^{(3.09-0.07X)})^{1/0.16}$	0.9992	$23.74 \pm 0.31pqr$	$0.62 \pm 0.03opq$
	综 31	$Y=27.00/(1+e^{(5.61-0.19X)})^{1/1.35}$	0.9912	$27.00 \pm 0.11ghij$	$0.77 \pm 0.01efg$
改良 Reid 群 Improved Reid	9058	$Y=32.79/(1+e^{(3.89-0.14X)})^{1/1.06}$	0.9989	$32.79 \pm 0.12a$	$0.75 \pm 0.01fgh$
	9046	$Y=25.54/(1+e^{(-1.05-0.10X)})^{1/0.06}$	0.9969	$25.54 \pm 0.34ijklmno$	$0.61 \pm 0.02pqr$
	郑 58	$Y=32.15/(1+e^{(1.37-0.09X)})^{1/0.40}$	0.9923	$32.15 \pm 0.29ab$	$0.60 \pm 0.03qrs$
	掖 478	$Y=28.23/(1+e^{(-0.46-0.09X)})^{1/0.12}$	0.9918	$28.23 \pm 0.25fg$	$0.58 \pm 0.03rs$
X 群 X group	CH3	$Y=29.16/(1+e^{(-1.29-0.10X)})^{1/0.05}$	0.9943	$29.16 \pm 0.12def$	$0.73 \pm 0.01ghij$
	京 724	$Y=29.09/(1+e^{(6.76-0.23X)})^{1/2.19}$	0.9929	$29.09 \pm 0.11def$	$0.80 \pm 0.01bcde$
	京 725	$Y=26.83/(1+e^{(1.48-0.13X)})^{1/0.22}$	0.9928	$26.83 \pm 0.11ghijk$	$0.79 \pm 0.01cde$
	京 464	$Y=27.12/(1+e^{(2.79-0.11X)})^{1/0.73}$	0.9981	$27.12 \pm 0.25ghi$	$0.56 \pm 0.02s$
	京 MC01	$Y=23.30/(1+e^{(2.58-0.17X)})^{1/0.41}$	0.9976	$23.30 \pm 0.13qrs$	$0.84 \pm 0.03ab$
	京 B547	$Y=25.38/(1+e^{(0.23-0.14X)})^{1/0.11}$	0.9923	$25.38 \pm 0.12klmno$	$0.82 \pm 0.02bcd$
	京 88	$Y=22.96/(1+e^{(6.51-0.24X)})^{1/1.78}$	0.9941	$22.96 \pm 0.12rs$	$0.72 \pm 0.02hijk$
	京 72464	$Y=29.29/(1+e^{(1.28-0.12X)})^{1/0.20}$	0.9963	$29.29 \pm 0.11cdef$	$0.81 \pm 0.01bcd$
	京 D9H	$Y=30.86/(1+e^{(0.31-0.10X)})^{1/0.21}$	0.9987	$30.86 \pm 0.11bc$	$0.71 \pm 0.01ijk$
	京 X005	$Y=29.37/(1+e^{(3.05-0.14X)})^{1/0.64}$	0.9958	$29.37 \pm 0.12cdef$	$0.77 \pm 0.02efg$
P 群 P group	京 D9B	$Y=28.01/(1+e^{(4.15-0.15X)})^{1/0.81}$	0.9997	$28.01 \pm 0.12fgh$	$0.74 \pm 0.01ghi$
	P178	$Y=26.13/(1+e^{(0.57-0.10X)})^{1/0.20}$	0.9934	$26.13 \pm 0.32ijklm$	$0.62 \pm 0.02pqr$
	F421	$Y=28.07/(1+e^{(-0.40-0.09X)})^{1/0.08}$	0.9912	$28.07 \pm 0.32fgh$	$0.62 \pm 0.02pqr$
	P008	$Y=26.62/(1+e^{(0.09-0.08X)})^{1/0.16}$	0.9989	$26.62 \pm 0.22hijk$	$0.52 \pm 0.02t$
	P138	$Y=30.37/(1+e^{(-0.02-0.08X)})^{1/0.11}$	0.9993	$30.37 \pm 0.26cde$	$0.60 \pm 0.03qrs$
	齐 319	$Y=29.05/(1+e^{(0.59-0.09X)})^{1/0.18}$	0.9978	$29.05 \pm 0.27ef$	$0.60 \pm 0.03qrs$
	B73	$Y=23.65/(1+e^{(0.22-0.14X)})^{1/0.07}$	0.9687	$23.65 \pm 0.11pqrs$	$0.82 \pm 0.01bcd$
	PH6WC	$Y=29.23/(1+e^{(-1.01-0.10X)})^{1/0.04}$	0.9992	$29.23 \pm 0.11def$	$0.69 \pm 0.01jklm$
	SY8727	$Y=29.88/(1+e^{(1.88-0.11X)})^{1/0.44}$	0.9914	$29.88 \pm 0.38cde$	$0.66 \pm 0.01lmno$
	SK516	$Y=25.94/(1+e^{(5.39-0.19X)})^{1/1.62}$	0.9945	$25.94 \pm 0.11ijklm$	$0.69 \pm 0.02klm$
Iodent 群 Iodent group	Y59	$Y=29.10/(1+e^{(-0.05-0.12X)})^{1/0.07}$	0.9898	$29.10 \pm 0.12def$	$0.84 \pm 0.02ab$
	PH4CV	$Y=25.87/(1+e^{(1.96-0.13X)})^{1/0.42}$	0.9898	$25.87 \pm 0.43ijklmn$	$0.67 \pm 0.01lmn$
	PH207	$Y=23.52/(1+e^{(-1.01-0.11X)})^{1/0.04}$	0.9923	$23.52 \pm 0.38pqrs$	$0.65 \pm 0.01mnop$
	京 17	$Y=24.01/(1+e^{(0.82-0.14X)})^{1/0.13}$	0.9987	$24.01 \pm 0.13opqr$	$0.76 \pm 0.03efg$
	SK1098	$Y=25.02/(1+e^{(5.04-0.18X)})^{1/1.64}$	0.9955	$25.02 \pm 0.32lmnop$	$0.62 \pm 0.02opq$

± 前后数值表示平均值 ± 标准差, 下同

The values before and after ± represent mean ± standard deviation, the same as below

表 3 不同杂种优势群玉米自交系籽粒含水率和生理成熟后脱水速率

Table 3 Grain moisture content and dehydration rate of maize inbred lines with different heterosis groups after physiological maturity

遗传类群 Heterotic group	自交系 Inbred line	生理成熟时籽粒含水率(%) Grain moisture content at physiological maturity	收获时籽粒含水率(%) Grain moisture content at harvest	生理成熟后籽粒脱水速率(%/d) Grain dehydration rate after physiological maturity
黄改群 Huangzaosi improved line	京 2416	30.39 ± 0.01mnop	18.91 ± 0.04rs	0.82 ± 0.02a
	京 24	31.67 ± 0.01cdefghijkl	21.54 ± 0.03lmnop	0.72 ± 0.04defghi
	5237	29.27 ± 0.03pq	18.96 ± 0.85rs	0.74 ± 0.02cdefh
	昌 7-2	31.51 ± 0.02defghijklm	23.95 ± 0.76abcdef	0.54 ± 0.02pq
	黄早四	30.92 ± 0.02ijklmn	20.14 ± 0.56pqr	0.77 ± 0.01bcd
	京 2416B92	29.79 ± 0.01mnop	20.74 ± 0.05lmnopq	0.65 ± 0.01lmn
	京 92	30.64 ± 0.03lmn	21.77 ± 0.12jklmno	0.63 ± 0.02no
	Lx9801	31.97 ± 0.01bcdefghi	22.40 ± 0.03ghijkl	0.68 ± 0.02ijklm
	C1120	32.18 ± 0.03abcdef	23.17 ± 0.06defghij	0.64 ± 0.02lmn
	浚 92-8	31.34 ± 0.03efghijklm	23.17 ± 0.12defghij	0.58 ± 0.03op
旅大红骨群 Lyuda red cob group	京 404	30.80 ± 0.01jklmn	21.61 ± 0.09klmnop	0.66 ± 0.01klmn
	丹 340	31.36 ± 0.01efghijklm	21.93 ± 0.23jklmn	0.67 ± 0.02jklmn
	丹 598	31.74 ± 0.02bcdefghijkl	21.94 ± 0.03jklmn	0.70 ± 0.02ghijk
改良 Reid 群 Improved Reid	综 31	30.62 ± 0.01lmn	22.45 ± 0.04fghijkl	0.58 ± 0.03op
	9058	32.08 ± 0.02bcdefgh	25.27 ± 0.05a	0.49 ± 0.03rst
	9046	31.02 ± 0.04ghijklm	23.69 ± 0.06bcdefg	0.52 ± 0.02qr
	郑 58	31.69 ± 0.02cdefghijkl	25.25 ± 0.02a	0.46 ± 0.03st
	掖 478	31.45 ± 0.03efghijklm	24.12 ± 0.09abcde	0.52 ± 0.02qr
X 群 X group	CH3	31.86 ± 0.04bcdefghijk	22.53 ± 0.06fghijkl	0.67 ± 0.01jklmn
	京 724	32.30 ± 0.02abcde	23.48 ± 0.08cdefghi	0.63 ± 0.02n
	京 725	30.94 ± 0.02hijklm	21.89 ± 0.11jklmn	0.65 ± 0.01lmn
	京 464	32.14 ± 0.02abcdefg	24.81 ± 0.08abc	0.52 ± 0.02qr
	京 MC01	32.89 ± 0.02ab	21.97 ± 0.07ijklmn	0.79 ± 0.01ab
	京 B547	31.48 ± 0.03defghijklm	19.62 ± 0.43qrs	0.78 ± 0.01abc
	京 88	30.48 ± 0.03mno	20.31 ± 0.13opqr	0.73 ± 0.02defghi
	京 72464	29.42 ± 0.02opq	20.56 ± 0.05nopq	0.76 ± 0.01bcde
	京 D9H	31.04 ± 0.01fghijklm	22.87 ± 0.23efghijkl	0.75 ± 0.03bcdef
	京 X005	32.10 ± 0.03bcdefg	22.21 ± 0.04ghijklm	0.71 ± 0.02fghij
P 群 P group	京 D9B	32.72 ± 0.01abc	22.50 ± 0.01fghijkl	0.73 ± 0.01defghi
	P178	31.50 ± 0.01defghijklm	24.92 ± 0.08abc	0.47 ± 0.04st
	F421	32.63 ± 0.01abcd	24.46 ± 0.12abcd	0.58 ± 0.03op
	P008	31.35 ± 0.03efghijklm	25.05 ± 0.13ab	0.45 ± 0.05t
	P138	31.08 ± 0.02fghijklm	24.78 ± 0.07abc	0.45 ± 0.01t
Reid 群 Reid group	齐 319	31.89 ± 0.02bcdefghij	24.84 ± 0.04abc	0.50 ± 0.01qrs
	B73	31.67 ± 0.02cdefghijkl	22.48 ± 0.08fghijkl	0.66 ± 0.01klmn
	PH6WC	31.94 ± 0.01bcdefhij	22.09 ± 0.08hijklm	0.70 ± 0.01ghijk
	SY8727	33.28 ± 0.01a	23.06 ± 0.09defghijk	0.73 ± 0.01defghi
	SK516	31.88 ± 0.01bcdefghij	22.22 ± 0.08ghijklm	0.69 ± 0.01hijkl
Iodent 群 Iodent group	Y59	31.88 ± 0.02bcdefghij	22.92 ± 0.12efhijkl	0.64 ± 0.02mn
	PH4CV	32.32 ± 0.01abcde	21.87 ± 0.04jklmn	0.75 ± 0.03bcdef
	PH207	32.74 ± 0.01abc	23.55 ± 0.04bcdefgh	0.66 ± 0.01klmn
	京 17	30.72 ± 0.01klmn	20.78 ± 0.12lmnopq	0.71 ± 0.01fghij
	SK1098	28.86 ± 0.02q	18.22 ± 0.09s	0.76 ± 0.01bcd

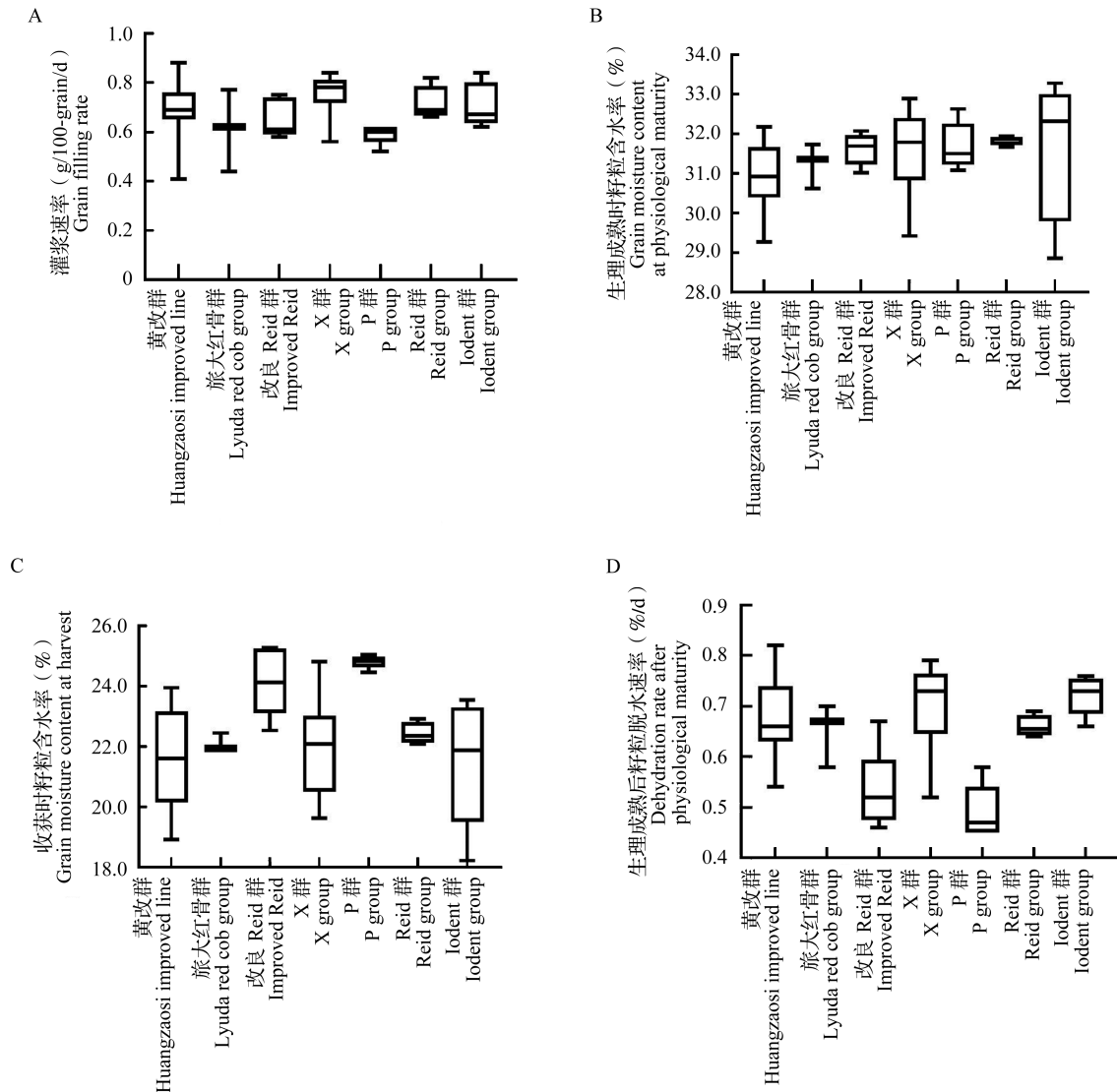


图1 不同杂种优势群玉米自交系的灌浆速率、籽粒含水率及脱水速率
Fig.1 Grain filling rate, grain moisture content and dehydration rate of maize inbred lines with different heterosis groups

2.4 籽粒灌浆速率和生理成熟后脱水速率聚类分析

对参试玉米自交系籽粒灌浆速率进行系统聚类分析,当欧氏距离等于4时,可将参试玉米自交系分为4类(图2):第Ⅰ类,包括京2416、京724、京725等9个自交系,灌浆速率极高;第Ⅱ类,包括京D9H、京88、京D9B等20个自交系,灌浆速率高;第Ⅲ类,包括F421、SK1098、丹598等11个自交系,灌浆速率中等;第Ⅳ类,包括丹340、浚92-8和昌7-2,灌浆速率低。

对参试玉米自交系生理成熟后的籽粒脱水速率进行系统聚类分析,当欧氏距离等于4时,可将参试玉米自交系分为4类(图3):第Ⅰ类,包括京2416、

京B547、京MC01等17个自交系,脱水速率高;第Ⅱ类,包括CH3、京724、C1120等13个自交系,脱水速率中等;第Ⅲ类,包括综31、F421和浚92-8,脱水速率低;第Ⅳ类,包括P008、P138、郑58等10个自交系,脱水速率极低。

2.5 相关性分析

由表4可知,对相关指标进行相关分析发现,籽粒含水率与生理成熟后脱水速率、籽粒灌浆速率密切相关。其中参试玉米自交系的产量与籽粒灌浆速率、干物质转运率呈极显著正相关。收获时籽粒含水率与生理成熟后籽粒脱水速率和灌浆速率呈极显著负相关,与生理成熟时籽粒含水率呈极显著正相关。生理成熟后籽粒脱水速率与灌浆速率呈极显著正相关。

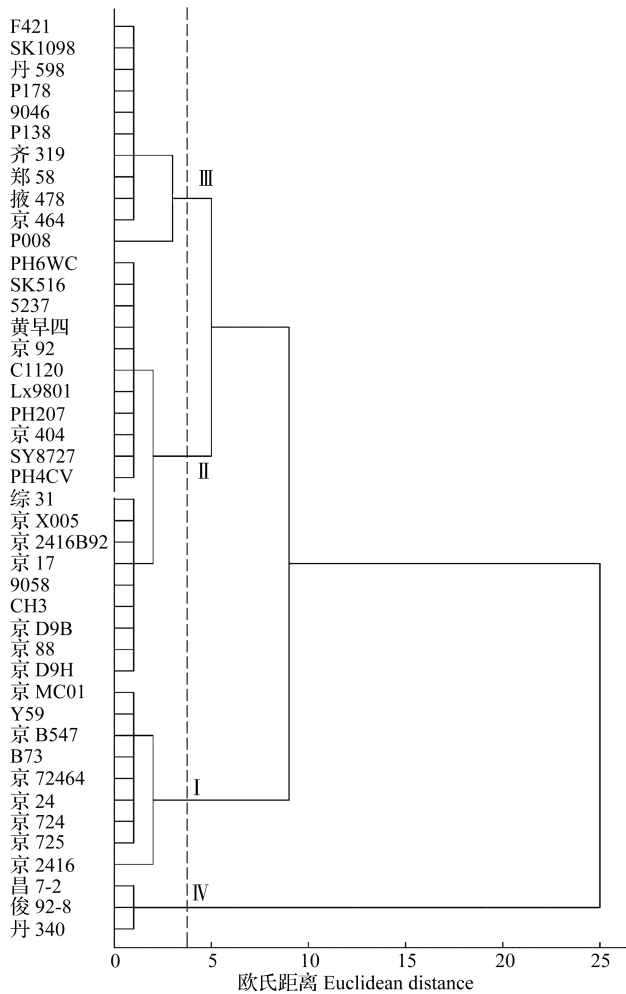


图2 不同杂种优势群玉米自交系籽粒灌浆速率聚类分析

Fig.2 Cluster analysis of grain filling rate of maize inbred lines with different heterosis groups

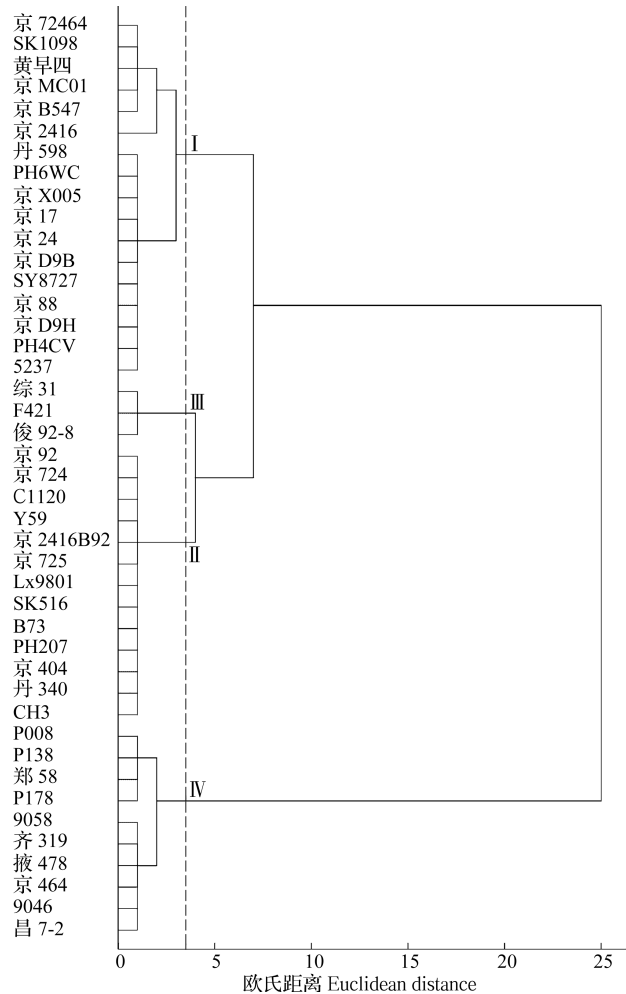


图3 不同杂种优势群玉米自交系生理成熟后籽粒脱水速率聚类分析

Fig.3 Cluster analysis of dehydration rate with different heterosis groups after physiological maturity

表 4 相关性分析

Table 4 Correlation analysis

指标 Index	X1	X2	X3	X4	X5	X6
X1	1.00					
X2	-0.16	1.00				
X3	-0.82**	0.62**	1.00			
X4	0.57**	-0.05	-0.43**	1.00		
X5	0.28	-0.17	-0.30*	0.43**	1.00	
X6	0.06	-0.04	-0.07	0.44**	0.82**	1.00

X1: 生理成熟后籽粒脱水速率; X2: 生理成熟时籽粒含水率; X3: 收获时籽粒含水率; X4: 灌浆速率; X5: 干物质转运率; X6: 产量。

** : 在 $P<0.01$ 水平差异显著; * : 在 $P<0.05$ 水平差异显著

X1: Grain dehydration rate after physiological maturity, X2: Grain moisture content at physiological maturity, X3: Grain moisture content at harvest, X4: Grain filling rate, X5: Transfer rate of dry matter, X6: Yield, **: significantly different at $P<0.01$, *: significantly different at $P<0.05$

3 讨论

玉米籽粒机收是我国玉米产业发展的趋势和方向^[20],玉米收获时籽粒含水率偏高是制约玉米生产实现全程机械化的瓶颈^[21]。籽粒脱水速率快慢直接决定了玉米品种收获期的籽粒含水率高低。前人研究发现,籽粒含水率在 25% 以下较为适宜机械粒收。因此,选用熟期早、灌浆脱水快的玉米品种是实现籽粒机械直收的重要前提^[22]。籽粒灌浆特性直接影响玉米籽粒干物质积累,对产量起决定作用^[23]。前人研究发现,玉米籽粒灌浆速率具有较高狭义遗传率,通过改良玉米自交系灌浆速率,可大幅提高籽粒产量^[24]。因此,亟需对玉米自交系灌浆和脱水速率鉴定评价,从而加快适宜机收籽粒玉米品种的选育。本研究表明,不同杂种优势群玉米自交系灌浆速率差异较大,表现为 X 群 > Reid 群 > Iodent

群>黄改群>改良 Reid 群>旅大红骨群>P 群, 这说明 X 群、Reid 群、Iodent 群干物质积累时间较短, 属于相对早熟的玉米品系, 这与丁佳琦^[25]的结果一致。黄改群骨干自交系京 2416 灌浆速率最高, 而黄改群中浚 92-8 和昌 7-2 最低。X 群自交系籽粒灌浆速率及产量高于其他杂种优势群, 本研究团队已利用京 724、京 725 等 X 群自交系组配了京科 968、京科 665 等生产上主推玉米品种, 得到了大面积示范推广, 实践证明具有灌浆快、产量高的突出优势^[26]。进一步相关分析表明, 产量与籽粒灌浆速率呈极显著正相关。因此, 通过筛选和利用籽粒灌浆快的玉米自交系, 培育熟期早、灌浆快玉米新品种, 可实现玉米的高产稳产。

收获时玉米籽粒含水率主要取决于生理成熟时籽粒含水率和生理成熟后籽粒脱水速率^[27-28]。玉米籽粒脱水速率是受多基因控制的数量性状, 主要受加性遗传效应影响, 且高度遗传, 可通过育种手段培育脱水快、籽粒含水率低的玉米品种^[29-31]。卢道文等^[32]研究认为玉米品种生理成熟后籽粒脱水速率受其父本影响大于母本。收获期籽粒含水率与生理成熟后脱水速率、灌浆速率均呈极显著负相关, 生理成熟后脱水速率与灌浆速率呈极显著正相关。由此可见, 在机械粒收玉米品种选育方面, 应选择灌浆速率高、脱水速率快的自交系, 从而实现高产和优质。本研究发现, 不同杂种优势群玉米自交系脱水速率表现为 X 群和 Iodent 群>黄改群>Reid 群>旅大红骨群>改良 Reid 群>P 群, 这与郭晋杰等^[33]研究结果不一致, 这可能与杂种优势类群自交系的选择和试点的环境条件有关。不同杂种优势群玉米自交系生理成熟后籽粒脱水速率平均为 0.65 %/d, 而不同杂种优势群内玉米骨干自交系脱水速率差别各异, 其中黄改群骨干自交系京 2416 脱水速率最高, 而不同杂种优势群间其中以京 B547、京 MC01 为代表的 X 群和以 PH4CV 为代表的 Iodent 群自交系籽粒脱水速率明显高于其他杂种优势群。因此, 选育灌浆脱水快的玉米品种, 在考虑杂种优势类群遗传距离同时, 也应重点关注杂种优势群中灌浆脱水快的玉米自交系。本研究对参试玉米自交系籽粒灌浆速率和脱水速率进行系统聚类分析发现, 京 2416、京 B547、京 MC01、京 72464 为籽粒灌浆速率和脱水速率均较高的玉米自交系^[34]。本研究单位在育种实践中已利用该自交系组配了京农科 728 (京 MC01×京 2416, 国审玉 20170007)、MC812 (京 B547×京 2416, 国审玉 20190284) 和 MC121

(京 72464×京 2416, 国审玉 20180070), 经多年试验示范和生产实践证明, 该系列品种具有早熟、灌浆脱水快、适宜机械直收籽粒等突出优势^[35-36]。由此可见, 在组配籽粒灌浆脱水速率快的杂交种时, 应考虑与之相关的主要性状以及自交系所属的杂种优势群, 兼顾父本和母本的籽粒灌浆脱水速率, 并对性状间进行配合力分析, 只有这样才有可能组配出籽粒灌浆脱水快且高产的优势组合。

参考文献

- [1] 赵久然, 王荣焕. 中国玉米生产发展历程、存在问题及对策. 中国农业科技导报, 2013, 15(3): 1-6
Zhao J R, Wang R H. Development process, problem and countermeasure of maize production in China. Journal of Agricultural Science and Technology, 2013, 15(3): 1-6
- [2] 赵久然, 李春辉, 宋伟, 王元东, 张如养, 王继东, 王凤格, 田红丽, 王蕊. 基于 SNP 芯片揭示中国玉米育种种质的遗传多样性与群体遗传结构. 中国农业科学, 2018, 51(4): 626-634
Zhao J R, Li C H, Song W, Wang Y D, Zhang R Y, Wang J D, Wang F G, Tian H L, Wang R. Genetic diversity and population structure of important Chinese maize breeding germplasm revealed by SNP-chips. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(4): 626-634
- [3] 邱军, 邓士政, 郑天存, 郭利磊, 张笑晴. 黄淮海小麦玉米双机收籽粒模式探索与实践. 中国农技推广, 2017, 33(11): 5-7
Qiu J, Deng S Z, Zheng T C, Guo L L, Zhang X Q. Exploration and practice of wheat and maize dual harvest model in Huang huaihai region. China Agricultural Technology Extension, 2017, 33(11): 5-7
- [4] 王晓慧, 张磊, 刘双利, 曹玉军, 魏雯雯, 刘春光, 王永军, 边少锋, 王立春. 不同熟期春玉米品种的籽粒灌浆特性. 中国农业科学, 2014, 47(18): 3557-3565
Wang X H, Zhang L, Liu S L, Cao Y Q, Wei W W, Liu C G, Wang Y J, Bian S F, Wang L C. Grain filling characteristics of maize hybrids differing in maturities. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(18): 3557-3565
- [5] 葛锦. 不同生态地区玉米光合特性及淀粉合成相关酶的比较研究. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018
Ge J. Comparative study on the photosynthetic characteristics of maize and related enzymes of starch synthesis in different ecological areas. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2018
- [6] 孔德胤, 杨松, 陶建光, 刘伟, 刘艳丽. 播期对河套地区玉米灌浆进度的影响. 中国农学通报, 2020, 36(4): 30-35
Kong D Y, Yang S, Tao J G, Liu W, Liu Y L. Sowing date affects grain filling progress of maize in Hetao area. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(4): 30-35
- [7] 王育红, 周新, 沈东风, 王新甫. 播期对河南不同熟期夏玉米生长发育和产量的影响. 耕作与栽培, 2019(4): 6-10, 14
Wang Y H, Zhou X, Shen D F, Wang X P. Effects of sowing dates on growth and yield of summer maize varieties differing in maturities in Henan province. Tillage and Cultivation, 2019(4): 6-10, 14

- [8] 全星星, 姜雯. 耕作措施对小麦-夏玉米轮作下玉米籽粒灌浆特性及产量的影响. 华北农学报, 2014, 29(2): 141-145
Tong X X, Jiang W. Effects of tillage managements in wheat-maize whole season on grain filling characteristics and yield of summer maize. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2014, 29(2): 141-145
- [9] 秦泰辰, 李增禄. 玉米子粒发育性状的遗传与产量性状关系的研究. 作物学报, 1991, 17(3): 185-191
Qin T C, Li Z L. Studies on the inheritance of the kernel growth characters and their relation to the yield characters in maize (*Zea mays* L.). Acta Agronomica Sinica, 1991, 17(3): 185-191
- [10] Borrás L, Zinselmeier C, Lynn S M, Westgate M E, Muszynski M G. Characterization of grain-filling patterns in diverse maize germplasm. Crop Science, 2009, 49(3): 999-1009
- [11] 刘艳秋, 李明顺, 李新海, 雍洪军, 颜娜, 周志强, 张晓星, 夏仁培, 张德贵, 郝转芳, 翁建峰, 白丽, 史振声, 张世煌. 1970s ~ 2000s 玉米主栽品种灌浆与脱水速率研究. 玉米科学, 2015, 23(1): 85-91
Liu Y Q, Li M S, Li X H, Yong H J, Yan N, Zhou Z Q, Zhang X X, Xia R P, Zhang D G, Hao Z F, Weng J F, Bai L, Shi Z S, Zhang S H. Preliminary study on grain filling and dehydration rate of maize hybrids used predominantly in 1970s-2000s. Maize Science, 2015, 23(1): 85-91
- [12] 李从锋, 赵明, 刘鹏, 张吉旺, 杨今胜, 董树亭. 中国不同年代玉米亲本自交系的灌浆特性与氮素运转. 作物学报, 2014, 40(11): 1990-1998
Li C F, Zhao M, Liu P, Zhang J W, Yang J S, Dong S T. Characteristics of grain filling and nitrogen translocation of maize parent lines released in different eras in China. Acta Agronomica Sinica, 2014, 40(11): 1990-1998
- [13] Purdy J L, Crane P L. Inheritance of drying rate in "mature" corn (*Zea mays* L.). Crop Science, 1967, 7(4): 294-297
- [14] Crane P L, Miles S R, Newman J E. Factors associated with varietal differences in rate of field drying in corn. Agronomy Journal, 1959, 51: 318-320
- [15] 王克如, 李少昆. 玉米籽粒脱水速率影响因素分析. 中国农业科学, 2017, 50(11): 2027-2035
Wang K R, Li S K. Progresses in research on grain broken rate by mechanical grain harvesting. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(11): 2027-2035
- [16] 霍仕平, 晏庆九. 玉米生理成熟后籽粒快速脱水的意义及其研究进展综述. 四川农业大学学报, 1993, 11(4): 626-629
Huo S P, Yan Q J. Significance and research advance of grain moisture quick-loss after physiological maturity in maize. Journal of Sichuan Agricultural University, 1993, 11(4): 626-629
- [17] 刘显君, 王振华, 王霞, 李庭锋, 张林. 玉米籽粒生理成熟后自然脱水速率 QTL 的初步定位. 作物学报, 2010, 36(1): 51-56
Liu X J, Wang Z H, Wang X, Li T F, Zhang L. Primary mapping of QTL for dehydration rate of maize kernel after physiological maturing. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(1): 51-56
- [18] 张冬梅, 刘洋, 赵永锋, 祝丽英, 黄亚群, 郭晋杰, 陈景堂. 不同杂种优势群玉米籽粒灌浆速率分析. 中国农业科学, 2014, 47(17): 3323-3335
Zhang D M, Liu Y, Zhao Y F, Zhu L Y, Huang Y Q, Guo J J, Chen J T. Analysis of maize grain filling rate in different heterotic groups. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(17): 3323-3335
- [19] 朱庆森, 曹显祖, 骆亦其. 水稻籽粒灌浆的生长分析. 作物学报, 1988, 14(3): 182-193
Zhu Q S, Cao X Z, Luo Y Q. Growth analysis on the process of grain filling in rice. Acta Agronomica Sinica, 1988, 14(3): 182-193
- [20] 李璐璐. 黄淮海夏玉米籽粒脱水特征研究. 北京: 中国农业科学院, 2017
Li L L. Study on grain dehydration characteristics of summer maize in Huanghuaihai plain. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2017
- [21] 姜艳喜, 王振华, 金益, 张林, 鄂文弟. 玉米收获期子粒含水量相关性状的遗传及育种策略. 玉米科学, 2004, 12(1): 21-25
Jiang Y X, Wang Z H, Jin Y, Zhang L, E W D. Genetics on water content at harvesting and correlative traits and breeding strategy. Maize Science, 2004, 12(1): 21-25
- [22] 李少昆. 我国玉米机械粒收质量影响因素及粒收技术的发展方向. 石河子大学学报: 自然科学版, 2017, 35(3): 265-272
Li S K. Factors affecting the quality of maize grain mechanical harvest and the development trend of grain harvest technology. Journal of Shihezi University: Natural Science, 2017, 35(3): 265-272
- [23] 周婷. 不同熟期玉米自交系及其杂交种灌浆和脱水特性研究. 吉林: 吉林农业大学, 2018
Zhou T. Study on the characteristics of grain filling and dehydration of maize inbred lines and their hybrids with different maturities. Jilin: Jilin Agricultural University, 2018
- [24] 金益, 张永林, 王振华, 孙朝杰. 玉米灌浆后期百粒重变化的品种间差异分析. 东北农业大学学报, 1998, 29(1): 3-5
Jin Y, Zhang Y L, Wang Z H, Sun C J. Difference analysis on 100 kernel weight in 30-60 days after silking in maize hybrids. Journal of Northeast Agricultural University, 1998, 29(1): 3-5
- [25] 丁佳琦. 我国不同年代玉米单交种及其亲本灌浆和脱水速率的研究. 北京: 中国农业科学院, 2012
Ding J Q. A study of grain filling and dehydration of rate for different periods of maize single-cross hybrids and their parents in China. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012
- [26] 王荣焕, 徐田军, 陈传永, 王元东, 吕天放, 刘月娥, 蔡万涛, 刘秀芝, 赵久然. 不同熟期类型玉米品种籽粒灌浆和脱水特性. 作物学报, 2021, 47(1): 149-158
Wang R H, Xu T J, Chen C Y, Wang Y D, Lv T F, Liu Y E, Cai W T, Liu X Z, Zhao J R. Grain filling and dehydrating characteristics of maize hybrids with different maturity. Acta Agronomica Sinica, 2021, 47(1): 149-158
- [27] 向葵. 玉米籽粒脱水速率测定方法优化及遗传研究. 四川: 四川农业大学, 2011
Xiang K. Genetic analysis and measuring method development of kernel fast dry down rate in maize. Sichuan: Sichuan Agricultural University, 2011
- [28] 王志红, 周福民, 郭华, 王静, 靳海蕾, 刘海霞, 王良发, 申亚飞, 杨美丽, 王帮太. 玉米籽粒脱水速率研究分析及种质改良策略. 农学学报, 2015, 5(7): 15-18
Wang Z H, Zhou F M, Guo H, Wang J, Jin H L, Liu H X, Wang L F, Shen Y F, Yang M L, Wang B T. Research and

- analysis on dehydration rate of maize grain and germplasm improvement tactics. *Journal of Agriculture*, 2015, 5 (7): 15-18
- [29] 王元东, 赵久然, 付修义, 张华生, 陈传永, 吴珊珊, 张春原, 张雪原, 陈明, 陈绍江. 黄欧系玉米育种应用探索与分析. *植物遗传资源学报*, 2020, 21 (4): 866-874
Wang Y D, Zhao J R, Fu X Y, Zhang H S, Chen C Y, Wu S S, Zhang C Y, Zhang X Y, Chen M, Chen S J. Exploration and analysis about the application of Huanglv-European lines in maize breeding. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2020, 21 (4): 866-874
- [30] 张林, 王振华, 金益, 于天江. 玉米收获期含水量的配合力分析. *西南农业学报*, 2005, 18 (5): 32-35
Zhang L, Wang Z H, Jin Y, Yu T J. Combining ability analysis of water content in harvest stage in corn. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2005, 18 (5): 32-35
- [31] 李德新, 宫秀杰, 钱春荣. 玉米籽粒灌浆及脱水速率品种差异与相关分析. *中国农学通报*, 2011, 27 (27): 92-97
Li D X, Gong X J, Qian C R. Difference and correlation analysis of grain milking rate and grain dehydrating rate on maize. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27 (27): 92-97
- [32] 卢道文, 张莹莹, 李永江, 宋俊乔, 牛永锋, 孙海潮, 芦连勇, 董文恒, 张晓辉, 崔俊明. 8 个玉米杂交种籽粒脱水特性研究. *江苏农业科学*, 2019, 47 (12): 122-125
Lu D W, Zhang Y Y, Li Y J, Song J Q, Niu Y F, Sun H C, Lu L Y, Dong W H, Zhang X H, Cui J M. Study on dehydration characteristics of 8 maize hybrids. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47 (12): 122-125
- [33] 郭晋杰, 赵永锋, 张冬梅, 祝丽英, 黄亚群, 陈景堂. 不同杂种优势群玉米籽粒脱水速率分析. *植物遗传资源学报*, 2018, 19 (1): 39-48
Guo J J, Zhao Y F, Zhang D M, Zhu L Y, Huang Y Q, Chen J T. Analysis of grain dehydration rate in different maize heterotic groups. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19 (1): 39-48
- [34] 赵久然, 王元东, 宋伟, 张如养, 李春辉, 刘新香. 玉米骨干自交系京 2416 的选育与应用. *植物遗传资源学报*, 2020, 21 (5): 1051-1057
Zhao J R, Wang Y D, Song W, Zhang R Y, Li C H, Liu X X. Breeding and application of maize founder inbred line Jing2416. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2020, 21 (5): 1051-1057
- [35] 王荣焕, 徐田军, 赵久然, 王元东, 邢锦丰, 吕天放, 刘月娥, 蔡万涛, 刘秀芝, 刘春阁. 收获期对玉米籽粒含水率及籽粒机收质量的影响. *中国农业科技导报*, 2020, 22 (11): 35-41
Wang R H, Xu T J, Zhao J R, Wang Y D, Xing J F, Lv T F, Liu Y E, Cai W T, Liu X Z, Liu C G. Effects of harvest date on maize grain moisture content and grain mechanical harvesting quality. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2020, 22 (11): 35-41
- [36] 王元东, 赵久然, 张华生, 陈传永, 吴珊珊, 张春原, 刘新香, 郭成恩, 陈明, 陈绍江. “黄欧”系列玉米自交系宜机械粒收特征特性研究. *植物遗传资源学报*, 2019, 20 (6): 1554-1565
Wang Y D, Zhao J R, Zhang H S, Chen C Y, Wu S S, Zhang C Y, Liu X X, Guo C E, Chen M, Chen S J. Characteristics of the “Huanglv-European lines” maize inbred lines for mechanical grain harvesting. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20 (6): 1554-1565